

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-201747

(43)Date of publication of application : 30.07.1999

(51)Int.Cl.

G01B 21/30

H01L 21/66

(21)Application number : 10-003936

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 12.01.1998

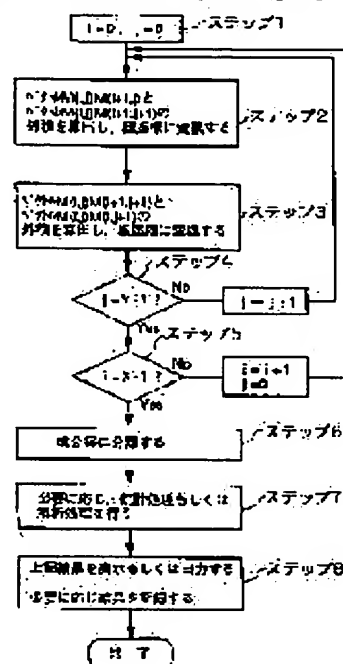
(72)Inventor : SATO TAKAO

(54) SURFACE EVALUATING METHOD AND DEVICE, PRODUCT PRODUCTION LINE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To distinguish flaws and surface roughness on the surface irregularities of a product and to evaluate them objectively and quantitatively.

SOLUTION: Space coordinates are provided for multiple points in the measured region of an object surface, normal line vectors having lengths proportional to the areas of unoverlapped triangles having multiple points as apexes are found (steps 1–5), a group of normal line vectors are sorted for each component (step 6), the sorted data are statistically processed or analytically processed (step 7), and the result is outputted as the index of surface irregularities (step 8).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平 1 1 - 2 0 1 7 4 7

(43)公開日 平成11年(1999)7月30日

(51)Int. Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 1 B 21/30

G 0 1 B 21/30

Z

H 0 1 L 21/66

H 0 1 L 21/66

L

P

審査請求 未請求 請求項の数 1 1 O L

(全 1 2 頁)

(21)出願番号 特願平10-3936

(22)出願日 平成10年(1998)1月12日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 佐藤 孝雄

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株

式会社日立製作所生産技術研究所内

(74)代理人 弁理士 富田 和子

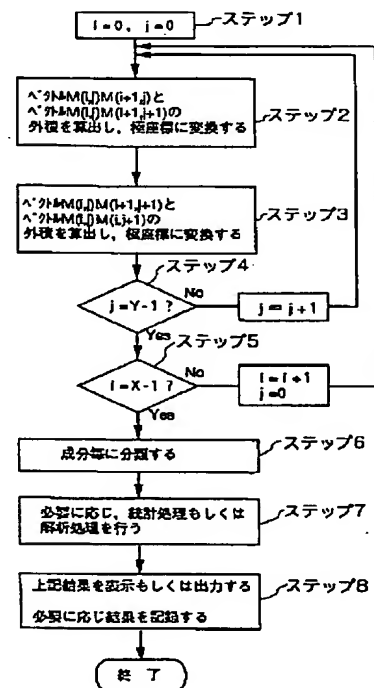
(54)【発明の名称】表面評価方法および装置、製品製造ライン

(57)【要約】

【課題】 製品の表面凹凸における傷と面あれとを区別し、客観的且つ定量的に評価する。

【解決手段】 物体表面の被測定領域内の複数の点について空間座標を受け付け、点を複数頂点とし互いに重ならない三角形の、その面積に比例した長さを有する法線ベクトルを求め(ステップ1～5)、該法線ベクトルの集合について、成分ごとに分類し(ステップ6)、分類されたデータを統計処理もしくは解析処理し(ステップ7)、その結果を表面凹凸の指標として出力する(ステップ8)。

図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 表面の凹凸形状を評価するための表面評価方法であって、
対象とする面上の複数の点における空間座標データを測定し、

上記複数の点を結ぶ、互いに交わらない線分により形成される複数の三角形における、各三角形の面積に対応して重み付けられた法線の、方向成分のばらつきを求めることを特徴とする表面評価方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の表面評価方法において、上記求めた法線の方向成分のばらつきが、上記対象とする面内における特定の方位のまわりに発生している場合、傷が発生していると判断し、
上記求めた法線の方向成分のばらつきが、上記対象とする面内における方位に依存せずに発生しているとき、面荒れが発生していると判断することを特徴とする表面評価方法。

【請求項 3】 請求項 1 および 2 のいずれか一項記載の表面評価方法において、
上記空間座標データの測定は、
予め定められた基準面に、その面内における座標が定義された複数の測定点を定め、
上記複数の測定点のそれぞれから、評価対象とする面を下した垂線の長さを測定して行われることを特徴とする表面評価方法。

【請求項 4】 対象とする表面を、各頂点が該表面上にある三角形の集合で近似し、
上記三角形について各三角形の面積に比例した長さの法線ベクトルを求め、
上記法線ベクトルの成分の集合のばらつきを求めることを特徴とする表面評価方法。

【請求項 5】 請求項 4 記載の表面評価方法において、
上記求めたばらつきを以て対象とする表面における凹凸の指標とすることを特徴とする表面評価方法。

【請求項 6】 物体の特定領域における表面上の複数の点の空間座標データを受け付けるための手段と上記複数の点の全てを互いに交わらない任意の線分で結び、これにより形成される全ての三角形について該三角形の面積に比例した長さの法線ベクトルを求めるための手段と、
該法線ベクトルを成分ごとに集計するための手段とを有することを特徴とする表面評価装置。

【請求項 7】 物体の特定領域における表面を、各頂点が該表面上にある三角形の集合で近似するための手段と、
該三角形の全てについて該三角形の面積に比例した長さの法線ベクトルを算出するための手段と、
該法線ベクトルの成分を成分ごとに集計するための手段とを有することを特徴とする表面評価装置。

【請求項 8】 請求項 6 および 7 のいずれか一項記載の表面評価装置において、
上記物体の特定領域における表面の点の空間座標を計測

するための計測手段を更に有し、

上記計測手段は、

原子間力顕微鏡、触針式表面段差計、電磁波をプローブとする非接触式表面段差計、音波をプローブとする非接触式表面段差計のいずれかを用いて構成されることことを特徴とする表面評価装置。

【請求項 9】 評価すべき製品の抜き取るための製品抜き取り部と、

上記抜き取られた製品の表面を評価するための表面凹凸評価部と、

上記評価された結果に従い、ラインの予め定められた工程に戻すための処理部とを備え、

上記表面評価部は、請求項 6 から 8 のいずれか一項記載の表面評価装置を用いて構成されること特徴とする製造ライン。

【請求項 10】 請求項 9 記載の製品製造ラインにおいて、

上記製品は、半導体デバイス、薄膜デバイス、プラスチック製品、金属製品および光学素子のいずれかであることを特徴とする製品製造ライン。

【請求項 11】 コンピュータを用いて表面評価を行うための表面評価プログラムを記録した記録媒体であって、

評価対象とする面における複数の点の空間座標データを受け付ける機能と、

上記複数の点の全てを互いに交わらない線分で結び、これらの線分により形成される全ての三角形について該三角形の面積に比例した長さの法線ベクトルを求める機能と、

該法線ベクトルを成分ごとに統計処理もしくは解析処理を行なう機能とを上記コンピュータを用いて実現する手順が記述されたプログラムを記録した記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、凹凸プロファイルを評価するための凹凸評価方法および装置ならびにこれを備える製品製造ラインに係り、特に、表面の検査に際する表面凹凸評価規準に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来実施される評価方法は、凹凸プロファイルの測定と、測定されたプロファイルの評価とから成る。凹凸プロファイルの測定は、試料表面上に試料の最表面を検知するプローブを接触（プローブが電磁波もしくは音波の場合は照射）もしくは近接させ、該試料最表面を適当に設けた基準面からの高さとして測定する作業を、測定領域内の多数の位置において実施することによりなされる。この測定のためには、例えば、原子間力顕微鏡や、触針式の表面段差計などが用いられる。

【0003】 測定結果の数値化は、結果の数値化もしくは図表化、さらには、前記の方法により得られた測定領

域内の高さデータの集合を統計処理することにより得られる。よく用いられている指標は、平均粗さ R_a および自乗平均平方根粗さ R_{rms} である。

*【0004】
【数1】

数1

$$R_a = \frac{1}{X} \cdot \frac{1}{Y} \sum_{x=0}^X \sum_{y=0}^Y |Z(x, y) - Z_{ave}| \dots (式1)$$

【0005】ここで、 X 、 Y は測定領域の x 方向 y 方向の長さ、 $Z(x, y)$ は位置 (x, y) における試料表面の高さ、 Z_{ave} は測定領域内の全 $Z(x, y)$ の平均値である。 ※

【数2】

数2

$$R_{rms} = \frac{1}{X} \cdot \frac{1}{Y} \sum_{x=0}^X \sum_{y=0}^Y \{Z(x, y) - Z_{ave}\}^2 \dots (式2)$$

【0007】上記の平均粗さ R_a および自乗平均平方根粗さ R_{rms} は、被測定試料の測定面に平行な成分の情報が含まれていない。このため、以下に示す2つの数値化手法が、特開平2-74051号公報で提案されている。1つめの数値化手法は、前記高さデータの集合を被測定試料の測定面に平行な成分で微分し、この後統計処理することにより凹凸の傾斜に関する情報を含んだ自乗平均平方根★

数3

$$\theta_{rms} = \frac{1}{X} \cdot \frac{1}{Y} \sum_{x=0}^X \sum_{y=0}^Y \{\Delta Z(x, y) / \Delta x\}^2$$

...(式3)

【0009】ただし、上記の式3は特開平2-74051号公報に記載される数式を y 方向に拡張したものである。 ☆

数4

☆【0010】
【数4】

$$\lambda_{rms} = 2\pi (R_{rms} / \theta_{rms}) \dots (式4)$$

【0011】評価結果の出力である測定結果の図表化は、例えば、凹凸プロファイルの測定結果の二次元グラフ化、三次元グラフ化、測定結果の数値データの羅列などにより行われている。より具体的には、上記二次元グラフ化として、例えば、等高線図などが用いられ、上記三次元グラフ化として、例えば、鳥瞰図などが用いられている。

【0012】半導体デバイスは、その集積度が年々向上し、これに伴い構造の微細化や積層膜の薄膜化が進行している。このため、半導体デバイスの電気特性は、薄膜の性状に支配される傾向が強まり、薄膜の膜質への影響が大きい下地の状態評価が重要視されるようになった。

20★傾斜角 θ_{rms} を求める手法であり、もう1つの数値化手法は、自乗平均平方根傾斜角 θ_{rms} と自乗平均平方根粗さ R_{rms} とから算出される自乗平均平方根波長 λ_{rms} である。

【0008】
【数3】

40 下地の状態のうち、表面プロファイルについては、従来の評価方法ではプロファイルの方向性に関する情報は得られない。

【0013】製造過程もしくは製造終了時に物体表面の凹凸、特に方向性を有する凹凸、を客観的に評価することが、例えば、半導体、磁気ディスク、TFT等の薄膜デバイス製造、プラスチック製品の加工業、金属製品の加工などにおいて要求されている。特に、半導体製造においては、表面凹凸が製品の性能に及ぼす影響が大きいため、表面凹凸の管理が厳しく、その客観的、数値的な取り扱いを可能とする表面検査法、表面凹凸の評価基準が求められている。

【0014】より具体的には、半導体デバイスは、薄膜の形成（塗布、酸化、窒化、CVD等）とその加工（リソグラフィ等）、および機能化（イオン打ち込み、活性化処理、サリサイド化等）を所定回数繰り返すことにより特定の微細電子回路が形成される。その集積度は約3年毎に4倍というペースで上がり、同時に素子構造の立体化および微細化が進行し、薄膜形成前や加工後の表面凹凸評価の必要性が高まっている。評価対象となる表面凹凸は、その方向性の有無により傷と面荒れに大別できる。以下に、傷および面荒れの評価方法の現状について説明する。

【0015】傷は、特にCMP（ケミカル・メカニカル・ポリッシング；化学機械研磨）後の表面において顕著である。CMPは、素子構造の立体化によりデバイスの面内段差が増大したため、これを低減させる新しい平坦化技術として実施されている。ところが、CMPでは、研磨後の表面に傷が生じることがある。これは、CMPにおいて、化学研磨と同時に進められる、砥粒による機械研磨に際し、凝集した砥粒等が引きずられた跡が発生しているものと考えられる。パッド（研磨布；傷発生の重要な因子の1つと考えられる）の状態は、処理に伴い刻々と変化するため、傷の発生を制御することは困難である。

【0016】発生した傷の評価方法としては、レーザ散乱光による検出が用いられる。前記散乱光の強度をマッピングすることにより傷の大きさ、分布をモニタする。

【0017】一方、面荒れは、その上に形成する膜の性質に影響を与えるため、その定量的評価が必要である。特に素子構造の微細化に伴う積層膜の薄膜化により、薄膜-基板間の界面状態がデバイス特性を支配する傾向が強まったことにより、評価の重要性が高まっている。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】従来の凹凸評価は前述のように、傷に対しては光の散乱を、面荒れに対しては凹凸プロファイルの測定を用いて実施されるが、それぞれ以下の問題点がある。

【0019】光の散乱を用いた評価方法では、散乱光のマップ上の分布が細長い場合に傷と判定している。一般に、凹部からの散乱光は強度が弱いので、小さい傷の場合には、面荒れの凸部からの散乱光の強度と同程度となってしまう。このため、傷と面荒れとを区別することは困難となる。

【0020】一方、凹凸プロファイルを測定することによる評価方法は、測定された凹凸プロファイルをそのまま表示すると、定量性を欠いてしまう。一方、凹凸プロファイルのデータを統計処理して数値化すると、傷のような局所的データは、傷以外のデータの中に埋没してしまう。

【0021】以上述べた通り、従来の凹凸評価はその評価対象凹凸の方向性の有無（傷／面荒れ）毎に異なる評価

手段が用いられており、しかも、いずれの手段も、傷と面荒れが混在する場合正確に評価できなかった。

【0022】本発明者らの検討によれば、上記問題点は、表面凹凸についてその度合いと方向性をおおの独りに且つ定量的に認識することにより解決できるものと考えられる。

【0023】また、このような評価を行うことにより、製品の製造ラインの歩留まりを向上させることが期待される。

【0024】従って本発明の第1の目的は、表面凹凸の度合いと方向性との定量的評価が可能な表面評価方法を提供することである。

【0025】本発明の第2の目的は、前記表面評価方法を実現する表面評価装置を提供することである。また、このような表面評価装置をコンピュータを用いて実現するためのプログラムを記録した記憶媒体を提供することも目的とする。

【0026】本発明の第3の目的は、表面凹凸の度合いと方向性との定量的評価を行い、その評価結果を製造工程および製造プロセス条件にフィードバックすることができる製品の製造ラインを提供することである。

【0027】

【課題を解決するための手段】前記第1の目的を達成するために、本発明の第1の態様によれば、表面の凹凸形状を評価するための表面評価方法であって、対象とする面上の複数の点における空間座標データを測定し、上記複数の点を結ぶ、互いに交わらない線分により形成される複数の三角形における、各三角形の面積に対応して重み付けられた法線の、方向成分のばらつきを求めることを特徴とする表面評価方法が提供される。

【0028】本発明の第2の態様によれば、対象とする表面を、各頂点が該表面上にある三角形の集合で近似し、上記三角形について各三角形の面積に比例した長さの法線ベクトルを求め、上記法線ベクトルの成分の集合のばらつきを求めることを特徴とする表面評価方法が提供される。

【0029】上記第2の目的を達成するために、本発明の第3の態様によれば、物体の特定領域における表面上の複数の点の空間座標データを受け付けるための手段と上記複数の点の全てを互いに交わらない任意の線分で結び、これにより形成される全ての三角形について該三角形の面積に比例した長さの法線ベクトルを求めるための手段と、該法線ベクトルを成分ごとに集計するための手段とを有することを特徴とする表面評価装置が提供される。

【0030】本発明の第4の態様によれば、物体の特定領域における表面を、各頂点が該表面上にある三角形の集合で近似するための手段と、該三角形の全てについて該三角形の面積に比例した長さの法線ベクトルを算出するための手段と、該法線ベクトルの成分を成分ごとに集

計するための手段とを有することを特徴とする表面評価装置が提供される。

【0031】本発明の第5の態様によれば、コンピュータを用いて表面評価を行うための表面評価プログラムを記録した記録媒体であって、評価対象とする面における複数の点の空間座標データを受け付ける機能と、上記複数の点の全てを互いに交わらない線分で結び、これらの線分により形成される全ての三角形について該三角形の面積に比例した長さの法線ベクトルを求める機能と、該法線ベクトルを成分ごとに統計処理もしくは解析処理を行なう機能とを上記コンピュータを用いて実現する手順が記述されたプログラムを記録した記憶媒体が提供される。

【0032】上記第3の目的を達成するために、本発明の第6の態様によれば、評価すべき製品の抜き取るための製品抜き取り部と、上記抜き取られた製品の表面を評価するための表面凹凸評価部と、上記評価された結果に従い、ラインの予め定められた工程に戻すための処理部とを備え、上記表面評価部は、上記第3および第4のいずれかの態様における表面評価装置を用いて構成されること特徴とする製造ラインが提供される。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。

【0034】まず、図1、図2を参照して、本発明の第1の実施の形態について説明する。

【0035】初めに、評価対象凹凸の空間座標から、凹凸の度合いと方向性を認識する指標を算出するための指標、および、その算出方法の概要について説明する。

【0036】初めに、前記空間座標の点の全てを、互いに交わらない任意の線分で結ぶ。次に、これらの線分により形成される三角形の全てについて、該三角形の面積に比例した長さの法線ベクトルを極座標もしくは円筒座標表示で算出する。そして、求めた法線ベクトルの各成分の集合を以て該表面の凹凸の指標とする。ここで、法線ベクトルの成分とは、法線ベクトルを極座標表示とした場合、 r 、 θ および δ であり、一方、円筒座標表示とした場合、 r 、 θ および z である。前記法線ベクトルの各成分のうち θ は、凹凸面の方向を表し、 z および δ *

数5

$$R = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)} \quad \dots (式5)$$

【0046】

※ ※ 【数6】

数6

$$\theta = \cos^{-1} \{ x / \sqrt{(x^2 + y^2)} \} \quad \dots (式6)$$

【0047】

【数7】

*は、凹凸の度合いを表わす。

【0037】これらの結果は、そのままグラフにより分布を示しても良いし、統計処理もしくは解析処理を施した後に図表化しても良い。統計処理を行なう場合、表面の特性を考慮し、例えば、 θ について、 $\theta + 180$ 度および $\theta - 180$ 度は等価な成分と見なす等の工夫が必要な場合がある。前記図表化においては必要に応じて、平均粗さ R_a 、自乗平均平方根粗さ R_{rms} 、もしくは前記以外の凹凸指標と組み合わせても良い。

10 【0038】次に、図1および図2を参照して、本発明における指標を求める手順の詳細について説明する。

【0039】まず、図2を参照して、対象となる表面と、本実施の形態における空間座標との関係について説明する。

【0040】空間座標データは、触針式の表面段差計により、図2(a)に示す構造を有する物体の表面を測定した結果である。測定領域10は、図2(a)において網掛けを施して示した部分である。前記測定領域10は、図2(a)において設定した $x y z$ 空間における、 x 方向に $0 \sim X$ 、 y 方向に $0 \sim Y$ の範囲内であり、鉛直上方から観察すると図2(b)に示すように見える。図2

(b)において測定地点は、 x 方向を X 個に、 y 方向を Y 個に分割する線分の交点であり、合計 $(X+1) \times (Y+1)$ 個ある。交点の座標 (i, j) と、その地点における高さ $Z(i, j)$ とが、空間座標データ $(i, j, Z(i, j))$ であり、この空間座標データを新たに $M(i, j)$ と定義する。

【0041】次に、図1を参照して、前記空間座標に対して行う、空間座標データから法線ベクトルを算出し、成分ごとに分類する手順について説明する。

30 【0042】(ステップ1) $i = 0$ 、 $j = 0$ とする。

【0043】(ステップ2) ベクトル $M(i, j)M(i+1, j)$ と、ベクトル $M(i, j)M(i+1, j+1)$ とのベクトル積を求め、求めたベクトルの集合を極座標表示 (R, θ, δ) に変換し、ステップ3に進む。

【0044】なお、上記極座標と、図2で定義された直交座標との関係は、以下の式の通りとする。

【0045】

【数5】

$$\delta = \tan^{-1} \{ z / \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)} \} \quad \dots (式7)$$

【0048】(ステップ3) ベクトル $M(i, j)M(i+1, j+1)$ と、ベクトル $M(i, j)M(i, j+1)$ とのベクトル積を求め、求めたベクトルの集合を極座標表示(R, θ, δ)に変換し、(ステップ4)に進む。

【0049】なお、上記極座標の定義は、ステップ2と同様に上記式5~7とする。

【0050】(ステップ4) $j = Y - 1$ の場合、ステップ5に進む。また、 $j \neq Y - 1$ の場合、 j の値に1を加え、ステップ2に戻る。

【0051】(ステップ5) $i = X - 1$ の場合、ステップ6に進む。また、 $i \neq X - 1$ の場合、 i の値に1を加え、 $j = 0$ として、ステップ2に戻る。

【0052】(ステップ6) 得られた法線ベクトル(極座標表示)の集合について成分ごとに分類する。

【0053】ここで、 θ 成分は、傾斜面の水平方向における角度すなわち凹凸の方向を示し、 δ 成分は、傾斜面の水平方向からの角度すなわち傾斜の急峻性を示す。

【0054】(ステップ7) 各成分に対し必要に応じて統計処理もしくは解析処理を行なう。

【0055】(ステップ8) 前項計算結果を表示もしくは出力する。なお、前記空間座標、前記法線ベクトルの集合、および前記法線ベクトルの集合について成分ごとに統計処理もしくは解析処理を行なった結果は、必要に応じて記録する。

【0056】このような処理により、空間座標データを頂点とする各三角形について、各三角形の面積に対応する長さを有する法線ベクトルの、方向成分を求めることができる。すなわち、各三角形の法線をそれぞれの面積で重み付けて集計した、方向成分のばらつきを求める統計処理が実現される。

【0057】次に、図3を参照して、上述の手順を実行して得られる結果の意味について説明する。ただし、この説明では、本評価法の原理を明確に説明するために、試料の状態および測定が理想的に実施されているものとする。すなわち、試料傾斜面の表面は完全に平坦であり、物体表面の「山」の頂点11と、「谷」の最深部12とは、その空間座標が測定されているものとする。

【0058】上述のようにして、上記手順を実行した結果、 θ 成分については、0ラジアンと π ラジアンとの2値がそれぞれ頻度 XY で得られ、 δ 成分については、 $\tan^{-1}(4H/\lambda)$ ラジアンなる1つの値が頻度 $2XY$ で得られた。この結果を、横軸を θ もしくは δ 、縦軸を各々の頻度としたグラフで表現すると、図3(a)、図3(b)のようになる。上記試料を水平方向反時計回りに $\pi/4$ ラジアン回転させて測定し、前記の計算を実施すると、 θ 成分については $\pi/4$ ラジアンと $5\pi/4$ ラジアンの2

値がそれぞれ頻度 XY で、 δ 成分については $\tan^{-1}(4H/\lambda)$ ラジアンなる1つの値が頻度 $2XY$ で得られた(図3

(c)および図3(d))。この結果から、 θ 成分は測定時の試料の方向に関する値が反映し、逆に δ 成分はその影響を受けないことが確認された。

10 【0059】なお、実際の測定結果は、図2の物体表面の「山」の頂点11と「谷」の最深部12が必ずしも測定されないことや、現実の試料では傾斜面が完全に平坦でないことなどの理由により、 θ 成分は0ラジアンもしくは π ラジアンを中心に、 δ 成分は $\tan^{-1}(4H/\lambda)$ ラジアンを中心にばらつく。この、より現実的な測定結果の統計処理もしくは解析処理、およびそれらの表示方法については、第2の実施の形態にて説明する。

【0060】上述した手順は一例であり、三角形の定義の仕方(3点の選定方法)、三角形の面積に比例した法線ベクトルの算出方法、算出の手順等は、これに限定するものではない。

【0061】本実施の形態により、本評価方法により得られる θ 成分および δ 成分が表面凹凸の方向性と度合いに関する情報をそれぞれ独立に示すことが確認された。

【0062】なお、物体の被測定領域内の表面における複数の点の空間座標を測定する方法は特に限定しないが、薄膜デバイスを評価対象とする場合、原子間力顕微鏡、触針式段差計が好適に適用される。

【0063】また、物体表面の空間座標を測定する機能と、前記指標を算出する機能とを合わせることもできる。

【0064】次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。

【0065】本実施の形態では、第1の実施の形態に示した方法により得られた測定結果についての統計処理および解析処理、およびそれらの表示例について説明する。本実施の形態では、より現実的な状況を想定し、被試料の傾斜面が完全に平坦ではなく、空間座標測定位置も「山」の頂点11と「谷」の最深部12が必ずしも測定されなかった状態で得られた結果を例にとり説明する。

【0066】前述の状況下で算出された値は、ある程度のばらつきを持った。この結果を表現するためヒストグラムを用いると、図3(a)は、例えば図4(a)のように表され、図3(b)は、例えば図4(b)のように表された。

【0067】別の表現方法として、一方の軸を θ 、他方の軸を δ としたグラフを用いると図5(a)のようになった。この結果は、互いに近接する成分について局所的な統計処理を行い、図5(b)のように表現しても良い。

【0068】さらに別の表現方法としては、一方の軸を θ もしくは δ とし、他方の軸を R_a 、 R_{rms} 、もしくは他の指標として2次元表示しても良い。さらに、法線ベクトルを算出する際定義した三角形の重心の x y 座標(x_c , y_c)と、その時算出された法線ベクトルの θ 成分よりなる新たな空間座標(x_c , y_c , θ)を、3次元表示(例えば鳥瞰図)もしくは2次元表示(例えば等高線図)してもよい。同様に、(x_c , y_c)と法線ベクトルの δ 成分よりなる新たな空間座標(x_c , y_c , δ)を、3次元表示(例えば鳥瞰図)もしくは2次元表示(例えば等高線図)してもよい。これらの組み合わせは、測定対象や得たい情報とにより適宜決定する。

【0069】次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。

【0070】本実施の形態では、CMP(化学機械研磨)後の試料の評価例を示す。試料はCVD酸化膜を形成しCMPを実施した後、洗浄を行なったシリコンウェハを用いた。凹凸プロファイルの測定には原子間力顕微鏡を用いた。

【0071】前記凹凸プロファイルから得られた空間座標データを、本発明の方法により法線ベクトルの集合として算出し、結果を横軸 θ 、縦軸 δ としたグラフにまとめた。

【0072】結果は図6(a)に示ように、殆どの δ 成分は $\pi/2$ ラジアン近辺に集中するが、 θ 成分が θ_1 の付近、および、 θ_2 の近辺で約 $\delta = \pi/4 \sim 3\pi/4$ ラジアンに分散する結果が得られた。これは測定領域の拡大映像(図6(b))と比較すると明確なように、測定の x 方向とのなす角がそれぞれ $\pi - \theta_1$ 、 $\pi - \theta_2$ となる傷20の存在と対応している。なお、図6(a)において δ 成分の分散の度合いは、 θ_1 における度合いより θ_2 における度合いの方が大きかったが、これは、傷20の大きさに対応していることがわかった。

【0073】本実施の形態によれば、方向性のある表面凹凸である傷について、その方向や程度に関する情報が得られることが示された。

【0074】次に、本発明の第4の実施の形態について説明する。

【0075】本実施の形態では、被評価試料の空間座標測定機構と、本発明の法線ベクトル算出+統計/解析処理をする機構とを組み合わせ得られた表面凹凸評価装置の例を示す。

【0076】図7において、本実施の形態における表面凹凸評価装置は、除振台41上に設けられる試料室40と、コントロールラック50と、コンピュータ60とを有して構成される。

【0077】上記コンピュータ60は、例えば、図11のように構成される。

【0078】図11において、コンピュータ60は、演算処理を実行するための中央処理装置61と、処理されるデ

ータおよびプログラムを記憶するためのメモリ62と、メモリ62の記憶容量を補助するための記憶装置63と、外部から指示およびデータを受け付けるための入力装置64と、処理の結果を出力するための出力装置65と、記憶媒体68に記憶されている情報を読みとるための記憶媒体読取装置66を備えて構成される。記憶媒体68に記憶されているプログラムがメモリ62にロードされ、そのプログラムに記述される手順に従って、中央演算処理装置61が演算処理を行う。

10 【0079】上記試料室40は、試料用XYステージ42と、プローブ43と、プローブ用Zステージ44と、プローブ位置検出器45とを備えている。

【0080】上記試料用XYステージ42と、プローブ用Zステージ44と、プローブ位置検出器45とは、コントロールラック50内に納められ、それぞれコントローラ51~53を備えている。

20 【0081】パーソナルコンピュータ60は、前記コントローラ50を介して試料用XYステージ42、プローブ用Zステージ44、およびプローブ位置検出器45を制御し、且つこれらから得られるデータを取り込み、法線ベクトルの算出および統計/解析処理を行なう。

30 【0082】本装置は、空間座標データの取込みと、法線ベクトルの算出/分類とを並列に実施する点に特徴がある。一般に空間座標の測定位置は、第1の実施の形態と同様に、図2(b)における方眼の交点とすることができる。第1列の測定終了以降、すなわち第2列目以降は、一点が測定されると、この点とそれ以前に測定された近傍の2点とから少なくとも1つの三角形が規定され、従って1つの法線ベクトルが算出される。前記処理を時系列で表示すると、図8(a)のようになる。なお、従来の処理フロー、例えば、実施の形態1から3における処理フロー(図8(b))では、空間座標の測定と法線ベクトルの算出を逐次実施するため、総所用時間が長かった。

【0083】本実施の形態の方法によれば、従来法に比べ空間座標の測定と法線ベクトルの算出を並列に実施できるため、評価時間を短縮させることができた。これにより、単位時間あたりに評価できる製品の総数を増加させることができた。

40 【0084】次に、図9を参照して、本発明の第5の実施の形態について説明する。本実施の形態では、実施の形態4で示した装置を製造ライン内に組み込み、製品をin-situモニタする製造ラインシステムの例を示す。

50 【0085】前記装置は、CMP後洗浄92工程と配線膜形成工程94との間に組み込み、洗浄後の全製品に対し表面凹凸評価93を行い、その結果を元に必要に応じてウェハアウト(棄却)、CMPからのやり直し、CMP後洗浄からのやり直し、CMP装置メンテナンスの実施、CMPプロセス条件の見直し、CMP後洗浄条件の見直し等の判断95を行なった。CMP処理は、主にパッドの経時

変化のため、処理の仕上がりも経時的に変化するため、全数検査は非常に有用である。

【0086】本実施の形態では、洗浄後の全製品に対して評価を実施する場合について説明したが、これに限定するものではなく、例えば、1枚おき、2枚おき等特定の規則に従って選別した製品を評価してもよい。また、適用工程も上記のものに限定するものではない。

【0087】次に、図10を参照して、本発明の第6の実施の形態について説明する。本実施の形態では、第4の実施の形態で示した装置を製造ライン内に設置して製品をin-situで評価し、該評価結果をもとに必要に応じて装置のメンテナンスもしくはプロセスの条件変更等を実施する。

【0088】前記装置を、CMP後洗浄92工程と、配線膜形成94工程との間に組み込み、洗浄後の全製品に対し、表面凹凸評価93を行い、その結果を元に、必要に応じて、ウェハの廃棄、CMPからのやり直し、CMP後洗浄からのやり直し、CMP装置メンテナンスの実施、などの判断を行った。

【0089】CMP処理91工程およびCMP後洗浄92工程を経たウェハに対し、表面凹凸評価93を行う。そして、評価結果のうち、まず、傷の数もしくは程度に着目する。傷の数もしくは程度が、予め検討し決定した任意の規定値A以上であった場合、該ウェハの再生の可否を判定する。前記可否判定の規準も予め検討して決定しておいたものを用い、可能と判定された場合、CMPの再処理を実施し、再生付加と判定された場合、廃棄する。廃棄する際、必要に応じて表面状態の評価を行う。

【0090】前記傷の数もしくは程度が、規定値Aよりは小さく、規定値B以上であった場合（規定値A>規定値B）、CMP装置のメンテナンスの可否を判定する。前記可否判定の規準も予め検討して決定しておいたものを用い、メンテナンスが必要と判定されたらCMP装置のメンテナンスを実施する。

【0091】前記傷の数もしくは程度が、規定値Bより小さかった場合、面荒れの程度に関して判定する。前記面荒れの程度が予め検討して決定しておいた規定値以上であった場合、該ウェハの再生の可否を判定する。前記可否判定の規準も予め検討して決定しておいたものを用い、可能と判定されたら、CMP後洗浄を再度実施し、再生不可と判定された場合、廃棄する。廃棄する際、必要に応じて表面状態の評価を行う。前記面荒れの程度が、前記規定値より小さかった場合、配線形成94工程へ進む。

【0092】CMP処理は、主にパッドの経時変化のため、処理の仕上がり、特に、傷の発生量が経時的に変化する。このため、全数検査によりその程度をモニタすることは、非常に有用である。

【0093】本実施の形態では、洗浄後の全製品に対して評価を実施する場合について説明したが、これに限定

されるものではなく、例えば、1枚おき、2枚おき等、特定の規則に従って選別した製品を評価してもよい。また、適用工程も上記のものに限定するものではない。また、本実施の形態では、凹凸評価93の結果から、ウェハの排気、CMPからのやり直し、CMP洗浄後からのやり直し、CMP装置メンテナンスの実施などの判断を行う例について述べたが、これに限定されるものではなく、例えば、CMPプロセス条件の見直し、CMP後洗浄条件の見直しなどを行ってもよい。

【0094】

【発明の効果】本発明によれば、平面凹凸の方向性に関する情報と、凹凸に関する情報が同時に得られる。これにより、従来困難であった傷と面荒れが共存する表面の評価が可能となる。

【0095】特に、本発明によれば、表面評価において、表面凹凸の度合いと方向性との認識が可能となる。

【0096】また、前記表面凹凸評価方法を表面凹凸の空間座標測定装置と組み合わせることにより、表面凹凸の評価を高速に実現できる。さらに製品の製造ラインに、本発明の表面評価装置を組み込むことにより、該製造ラインの歩留まりを向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 表面凹凸の空間座標から法線ベクトルを算出する手順を示すフローチャートである。

【図2】 対象面を示す説明図であって、(a) 極端な方向性を有する物体の表面の形状を示す斜視図、(b) 測定領域における座標を示す上面図である。

【図3】 図2に示した平面における空間座標の測定位置を示す説明図であって、(a) $\theta = \pi$ における頻度、(b) $\theta = \tan^{-1}(4H/\lambda)$ における頻度、(c) $\theta = \pi/4$ および、 $\theta = 5\pi/4$ における頻度、(d) $\theta = \tan^{-1}(4H/\lambda)$ における頻度を示すグラフである。

【図4】 本発明により得られた表面凹凸指標を表すグラフ表示例であって、(a) $\theta = \pi$ における頻度、(b) $\theta = \tan^{-1}(4H/\lambda)$ における頻度を示すグラフである。

【図5】 本発明により得られた表面凹凸指標を表すグラフ表示例であって、(a) $\theta = \pi$ における頻度、(b) $\theta = \tan^{-1}(4H/\lambda)$ における頻度を示すグラフである。

【図6】 CMP（化学機械研磨）を実施した試料の測定結果の一例を示すグラフであって、(a) 頻度の θ 依存性を示すグラフ、(b) 傷を有する表面の状態を示す平面図である。

【図7】 本評価方法を実現する装置の構成例を示す。

【図8】 空間座標から法線ベクトルを算出する時系列フローを示す説明図であって、(a) 測定と併せて法線ベクトルの演算処理を行う場合、(b) 測定終了後に、法線ベクトルの演算処理を行う場合を示すフロー図である。

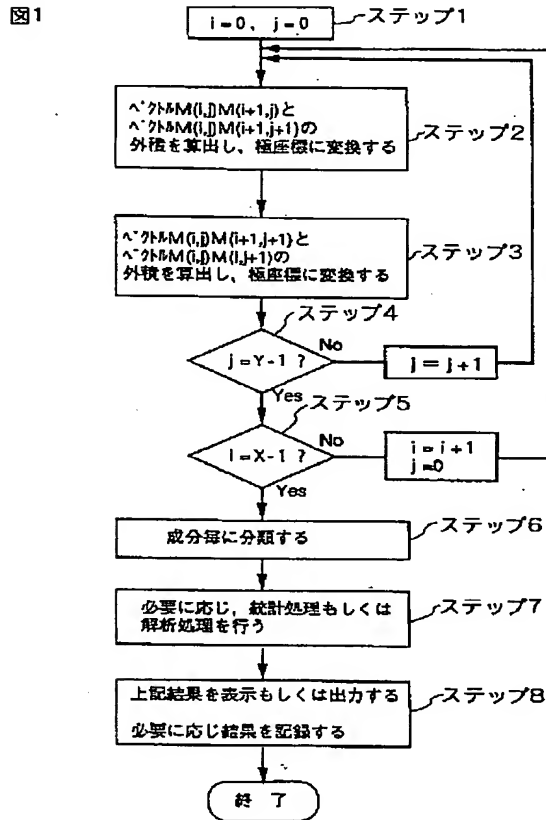
【図 9】 本発明を適用した表面評価装置を備える半導体製造ラインを示す説明図である。

【図 10】 本発明を適用した表面評価装置を備える半導体製造ラインの他の態様を示す説明図である。

【図 11】 コンピュータの構成を示すブロック図である。

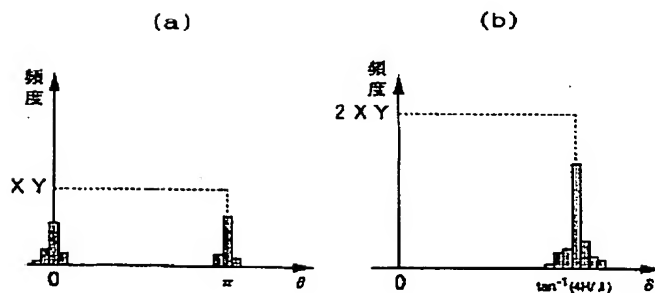
【符号の説明】

【図 1】



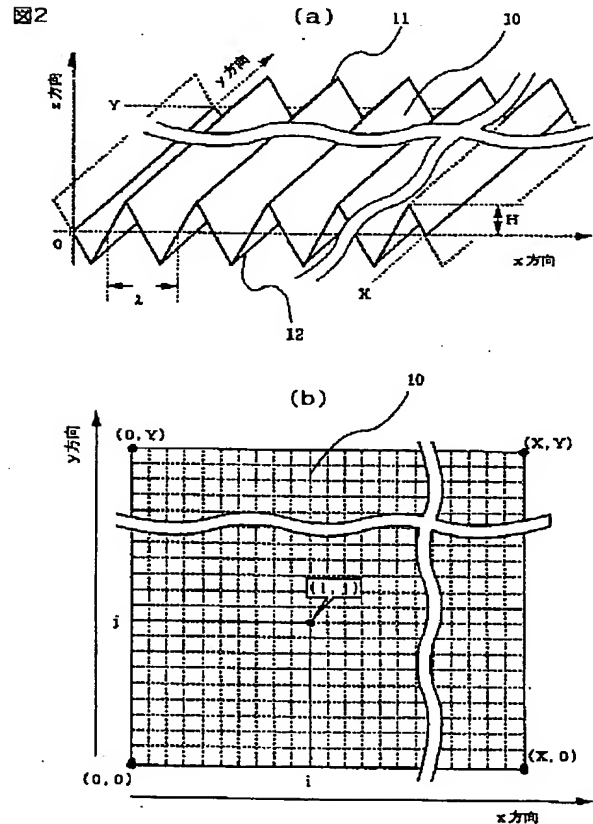
【図 4】

図 4



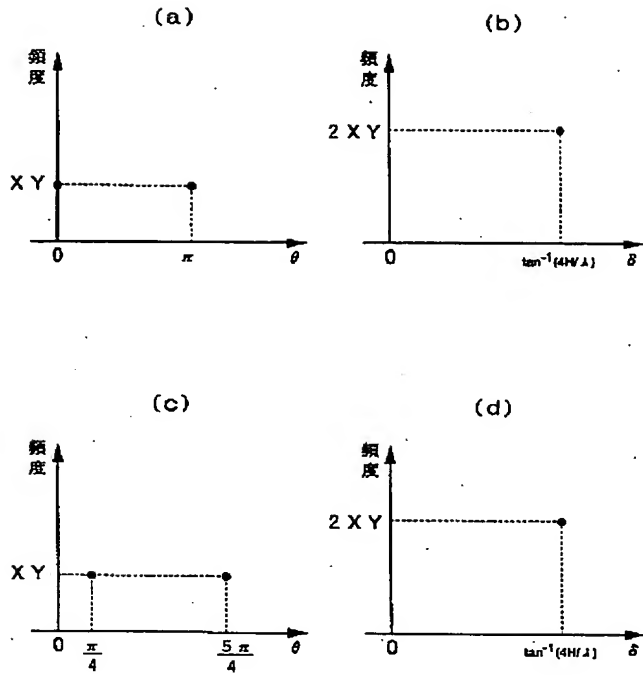
10…被測定領域、20…傷、30…被測定試料、40…試料室、50…コントロールラック、60…コンピュータ、61…中央演算装置、62…メモリ、63…記憶装置、64…入力装置、65…出力装置、66…記憶媒体読取装置、68…記憶媒体、70…空間座標測定の所用時間、80…法線ベクトル算出/分類の所用時間、92…CMP後洗浄、93…表面凹凸評価、94…配線膜形成、95…判断。

【図 2】



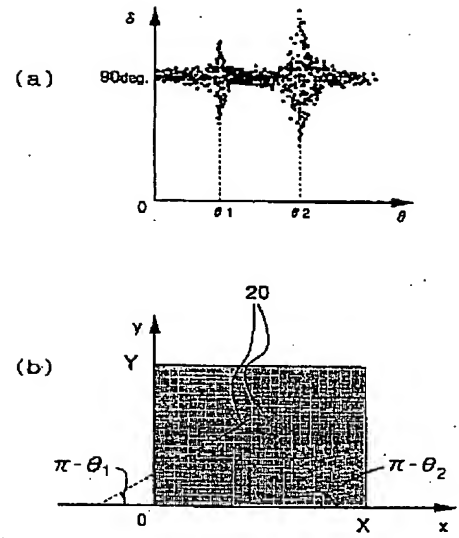
【図 3】

図3



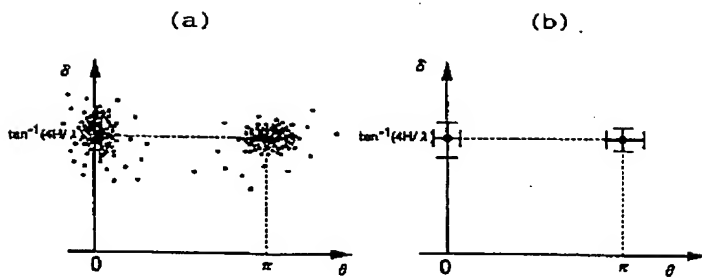
【図 6】

図6



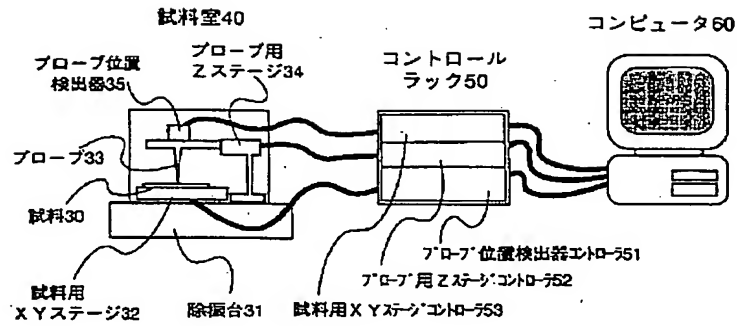
【図 5】

図5

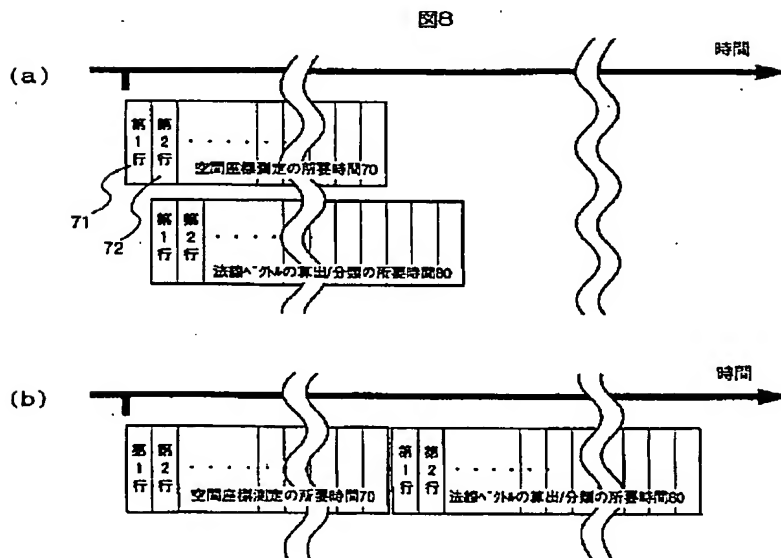


【図7】

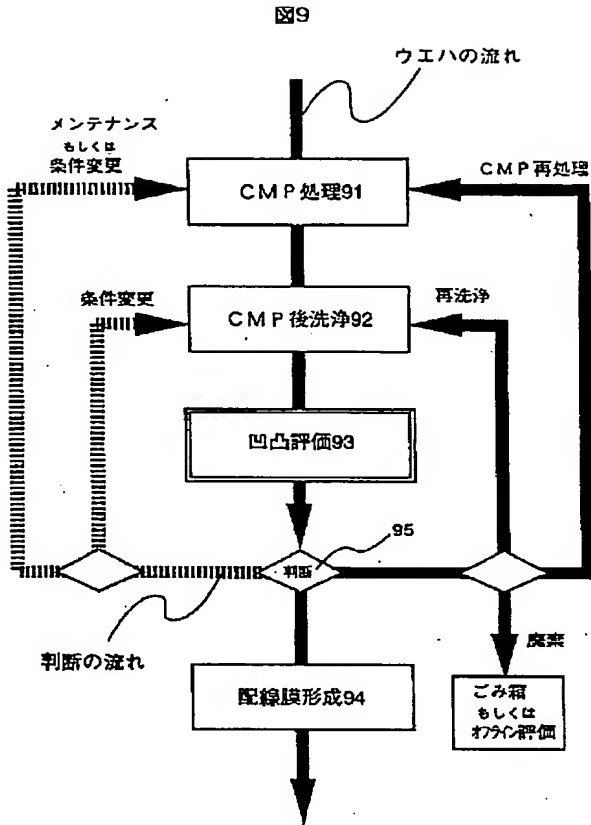
図7



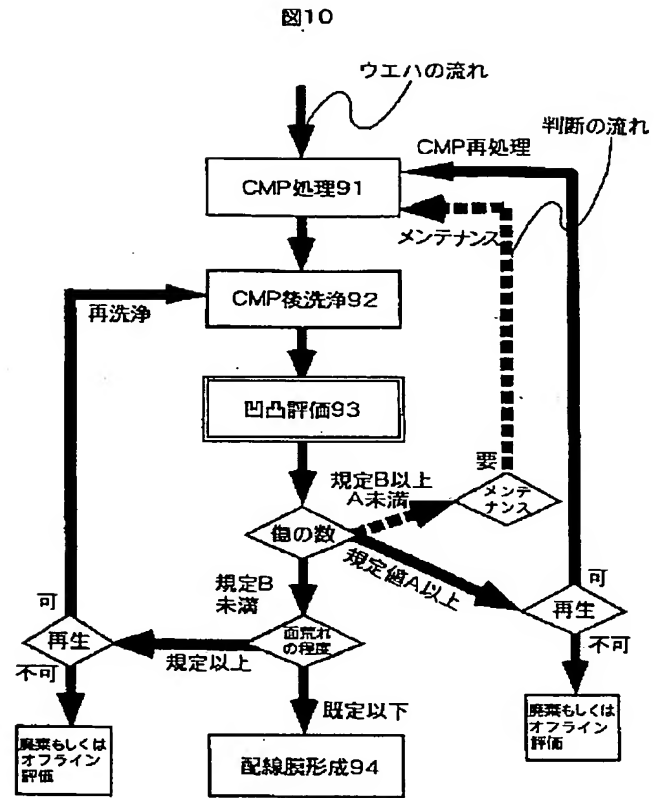
【図8】



【図9】



【図10】



【図11】

図11

